



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Niko Petäjä

INDUKTIOKOURU-UUNIN INDUKTO- RIN VUORAUKSEN VALMISTUSME- NETELMÄT

Tekniikka

2016

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Vaasan ammattikorkeakoulussa tekniikan ja liikenteen yksikössä sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyönä ABB Motors & Generators Oy:lle vuoden 2016 keväänä. Opinnäytetyön ohjaajinani toimivat ABB Motors & Generators- yksikössä tuotantopäällikkö Aki Kangasluoma ja Vaasan ammattikorkeakoulussa lehtori Jussi Ojanen.

Työn tavoitteena oli kehittää nykyisin käytössä olevan induktiouunin induktorin vuorausmenetelmää.

Haluan kiittää työn ohjaajia Aki Kangasluomaa ja Jussi Ojasta, sekä kunnossapitoasentaja Juha Saarelaa avusta työn aikana ja mahdollisuudesta toteuttaa tämä työ.

Vaasassa 23.6.2016

Niko Petäjä

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Niko Petäjä
Opinnäytetyön nimi	Induktiokouru-uunin induktorin vuorauksen valmistusmenelmät
Vuosi	2016
Kieli	suomi
Sivumäärä	53 + 1 liite
Ohjaaja	Jussi Ojanen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä vaihtoehtoisia menetelmiä nykytilanteessa käytettävälle induktorin vuorauksen valmistusmenetelmälle. Tarkoituksena oli löytää korvaava tapa puumuotin polttosintraukselle ja kuinka menetelmää voitaisiin nopeuttaa, sekä parantaa induktorin käyttöikää ja menetelmän turvallisuutta

Työssä käsiteltiin kolmea tapaa valmistaa induktorin vuoraus: Ensimmäisenä vaihtoehtona on sijoittaa alkuperäiseen teräsmuottiin sähkövastukset jokaiseen pystykanavaan, toisena vaihtoehtona on valaa tai koneistaa induktorin kanavien muotoinen muotti alumiinista ja lämmittää muottia induktion avulla ja kolmantena vaihtoehtona on Blasch Precicion Ceramicsin valmistama keraaminen kouru

Työn tuloksena ymmärrettiin paremmin induktorin ikään vaikuttavia seikkoja ja lopputuloksena eri valmistusmenetelmien hyötyjä ja haittoja.

.

ABSTRACT

Author	Niko Petäjä
Title	Manufacturing Procedure of a Channel-type Induction Furnace Inductor Lining
Year	2016
Language	Finnish
Pages	53 + 1 liite
Name of Supervisor	Jussi Ojanen

The aim of this study was to find out alternative methods to produce channel-furnace inductor lining. The purpose was to find out and replace the currently used wooden mould to get rid of the burnt-out of the mould and also to speed up the process, increase the inductor lifetime and make the method safer.

The thesis studied three different ways to produce the inductor lining: To use original steel mould and modify it so that it is possible to install an electric resistance heater elements inside the mold, or to cast or machine an aluminium mould which is in the a shape of inductor channels and heat the mould with induction or to use the Blasch Precision Ceramics mould.

As a result the thesis, we have a better understanding of the effects that decrease the lifetime of an inductor lining and different ways to produce linings and know the pros and cons of the production methods.

Keywords	Manufacturing procedure, inductor, mould, lining
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENTEET JA KÄSITTEET	10
1 JOHDANTO	11
2 ABB YRITYKSENÄ	12
2.1 ABB Suomessa	12
2.2 ABB Motors & Generators Vaasa	13
3 KUNNOSSAPITO	14
3.1 Kunnossapitolajit	14
3.1.1 Korjaava kunnossapito	14
3.1.2 Ennakoiva kunnossapito	15
3.2 ABB Motors & Generators – kunnossapitostrategia	15
4 SULATUUUNITYYPIT	17
4.1 Valokaariuunit	17
4.1.1 Valokaariuunin rakenne	17
4.2 Induktiouunit	18
4.2.1 Induktioupokasuuni	19
4.2.2 Keskitäajuusinduktiouunit	21
4.2.3 Verkkotaajuusinduktiouunit	21
4.2.4 Induktiokouru-uuni	21
4.3 Kupoliuunit	23
4.3.1 Kylmäilmakupoliuunit	23
4.3.2 Kuumailmakupoliuunit	24
5 UUNIT TEHTAASSA	25
5.1 MARX- induktiokouru-uunien rakenne ja toiminta	26
5.1.1 Sähköinen ja mekaaninen rakenne	26
5.2 Uunin pataosan vuoraus	29
5.3 Alumiinin ominaisuuksia	31
6 INDUKTORIN VUORAUKSEN VALMISTUS ENNEN JA NYKYÄÄN .	34
6.1 Vuorauksen valmistus muotilla ja sähkövastuksilla	39
6.2 Vuorauksen valmistus alumiinimuotilla	46

6.3 Blasch precision ceramics- keraaminen muotti	47
7 ERI MENTEELMIEN VERTAILU	49
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	51
LÄHTEET	52
LIITTEET	

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Korjaukset ja huollot	s.16
Kuva 2. Arrow-järjestelmä	s.16
Kuva 3. Valokaariuunin rakenne	s.18
Kuva 4. Induktioupokasuunin rakenne	s.20
Kuva 5. Induktiouunin häviöt	s.20
Kuva 6. Induktiokouru-uunin rakenne	s.22
Kuva 7. Kylmäilmakupoliuuni	s.24
Kuva 8. Sähkökeskuksen pääkomponentit	s.27
Kuva 9. Tulo- ja lähtökuristin	s.28
Kuva 10. Uunipesän vuoraus tulenkestävillä levyillä	s.29
Kuva 11. Uunipesän vuoraus tulenkestävillä tiilillä	s.30
Kuva 12. Märkämassan kaato uunipesän muotin ympärille	s.30
Kuva 13. Valmis uunipesä	s.31
Kuva 14. Alumiinioksidifilmi	s.32
Kuva 15. Kaasuhuuhtelusekoitin	s.33
Kuva 16. Induktorin vuorausta tulenkestävillä levyillä	s.35
Kuva 17. Marx-teräsmuotti	s.35
Kuva 18. Puumuotti	s.36
Kuva 19. Puumuotin poltto ja kuivamassan sintraus	s.37
Kuva 20. Induktorin alakanava polton jälkeen	s.37
Kuva 21. Induktorin keskikanava polton jälkeen	s.38
Kuva 22. Tubothal –lämmityselementti	s.40

Kuva 23. Tubothal -tehokäyrä	s.40
Kuva 24. Uunin esilämmityskeskus	s.41
Kuva 25. Induktorin mallinnus	s.42
Kuva 26. Muotin lämpövuon lähde	s.43
Kuva 27. Kuivamassan lämpövuon lähde	s.44
Kuva 28. Induktorin simulointi	s.45
Kuva 29. Lämpövuon suunta ja jakaantuminen	s.46
Kuva 26. Keraaminen kouru	s.48
Kuva 27. Keraamisen kourun läpileikkaus	s.48
 Taulukko 1. Induktorin valmistusmenetelmien vertailu	 s.45

LIITELUETTELO

LIITE 1. Marx-uunin induktorin teräsmuotin piirustus

LYHENTEET JA KÄSITTEET

ABB	Asea Brown Boveri
IGBT	Insulated Gate Bibolar Transistor
Induktori	Sulatusuunin muuntaja, joka koostuu rungosta, rautasydäimestä ja kelasta
MARX	saksalainen sulatusuunivalmistaja
kW	kilowatti, tehon yksikkö
HDP- moottori	High Dynamic Performance - moottori. ABB:n servomoottorityyppi
Duplex-käsittely	Menetelmä, jolla saadaan induktio-uunissa seostettua valurautaa ja poistettua rikkiä
Koksi	Kivihiilestä kuivatislaamalla valmistettua hiiltä
StrikoWestofen	saksalainen sulatus-annostelu-uunivalmistaja
kVA	Kilovolttiampeeri, näennäistehon yksikkö
PID-säädin	Proportional-integral-derivative-säädin
λ	lämmönjohtavuus

1 JOHDANTO

Alumiinin laatu ja puhtaus on yksi merkittävimmistä tekijöistä oikosulkumoottori häkkikäämitystä valettaessa. Huonolaatuinen alumiini vaikuttaa suoraan oikosulkumoottorin rautahäviöihin ja näin ollen moottorin hyötysuhteeseen. Myös alumiinin epäpuhtaudet ja vajaat valut aiheuttavat roottorin tasapaino- ja lämpenemisongelmia, jotka voivat aiheuttaa jopa moottorin palamisen.

Työssä tullaan keskittymään saksalaisvalmisteisen Marx-induktiokouru-uunien induktorin vuorauksen valmistusmenetelmiin. Kyseisillä sulatusuuneilla sulatetaan alumiinia, jota käytetään oikosulkumoottorin roottorin häkkikäämityksen ja oikosulkurenkaiden valamiseen. Nykyisin käytössä olevalle vuorausmenetelmälle olisi tarkoitus etsiä korvaajaa, jolloin valmistusmenetelmän tapaa voitaisiin helpottaa, nopeuttaa ja turvallisuutta parantaa. Induktorin valmistusmenetelmien kehittämällä voitaisiin lisäksi saada kasvatettua kouru-uunin vuorauksen pinnanlaatua, eroosionkestävyyttä ja huoltoväliä. Pitkällä aikavälillä valmistusmenetelmien kehittäminen tuo suuria säästöjä huoltokustannuksissa ja tuotantokatkoksien vähenemisessä.

2 ABB YRITYKSENÄ

ABB on maailmanlaajuinen sähkövoima- ja automaatioon keskittynyt yritys. ABB syntyi vuonna 1988 kun ruotsalainen Asea ja sveitsiläinen Brown Boveri BBC yhdistyivät. Nykyisen ABB:n pääkonttori sijaitsee Zürichissa. ABB:llä on toimintaa noin 100 maassa ja vuotuinen liikevaihto on noin 40 miljardia euroa, josta Suomen osuus on 2,3 miljardia euroa. ABB:n palveluksessa on n. 140 000 henkilöä, joista Suomessa 5200 henkilöä. Yhtiön pääjohtajana toimii vuodesta 2013 lähtien Ulrich Spiesshofer. ABB käyttää tuotekehitykseen vuosittain 1,5 miljardia euroa. ABB on jaettu vuoden 2016 alusta neljään divisioonaan (Electrification Products, Discrete Automation and Motion, Process Automation, Power Grids). /1/

2.1 ABB Suomessa

Suomen ABB:n edeltäjä sai alkunsa, kun Gottfrid Strömberg perusti Helsinkiin vuonna 1889 sähkökoneliikkeen, josta muodostui myöhemmin osakeyhtiö Oy Strömberg Ab. Yritys toimi aluksi Helsingin Kampissa valmistaen dynamoita ja tasavirtakoneita. Vuonna 1934 Sörnäisten tehtaen tuhoutuessa tulipalossa, Strömberg muutti tehtaansa Pitäjänmäelle ja vuonna 1943 Vaasaan perustettiin tehdas. Strömberg kasvoi vahvasti sotien jälkeen ja se oli merkittävä sotakorvaustoimittaja. Vuonna 1983 Strömberg fuusioitui Kymi-kymmenen kanssa ja nimeksi vaihtui Kymi-Strömberg. Strömberg loppui yksityisenä yrityksenä 1988, kun Kymi-Strömberg myi osakeomistuksensa ruotsalaiselle Asealle, joka lopulta fuusioitui sveitsiläisen Brown Boverin kanssa. Fuusioista alkoi ABB:n aikakausi. /2/

2.2 ABB Motors & Generators Vaasa

Suomessa on kaksi ABB Motors & Generators –yksikköä, Vaasassa ja Helsingissä. Helsingissä valmistetaan korkean hyötysuhteen moottoreita, generaattoreita ja muita tahtikoneita. Vaasan yksikkö tuottaa asiakkaiden vaatimusten mukaan erilaisiin sovelluksiin tarkoitettuja sähkömoottoreita ja generaattoreita. Valmistettavien moottoreiden akselikorkeuksia ovat 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400, 450 ja uutena 500 mm. Yksikön tuotevalikoimaan kuuluu myös räjähdysvaarallisiin tiloihin soveltuvat Exd –moottorit ja uutena tuotteena on HDP- moottorit. Vuoden 2015 syksystä lähtien on ollut käynnissä siirtoprojekti Ruotsissa ennen valmistettujen alumiinirunkoisten reluktanssimoottoreiden kokoonpanon siirtämiseksi. Yksikön johtajana toimii Harri Mykkänen.

/5/

3 KUNNOSSAPITO

Teollisuuden nopea kehittyminen ja konekantojen kasvu ovat johtaneet siihen, että koneet ja laitteet tarvitsevat jatkuvaa huoltoa ja ylläpitoa turvatakseen tehtaiden toimintakyvyn joka tilanteessa. Kunnossapidon tehtävänä on turvata laitteiden toiminta ennakko- ja vikaantuneiden laitteiden nopea korjaus ja syiden selvitys.

”Kunnossapidon määritelmä on seuraava: Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana (SFS-EN 13306 2001).”/9/

3.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapitolajit voidaan jakaa kahteen lajiin: korjaavaan ja ennakkoivaan kunnossapitoon. Ennakkoivan kunnossapidon tarkoituksena on ehkäistä koneiden yllättäviä vikaantumisia. Käytännössä on kuitenkin todettu, että koneiden ja laitteiden yllättävistä vioista ei tulla täysin pääsemään eroon. Yllättäviä tekijöitä löytyy aina, kuten koneiden rakenteellinen monimutkaisuus ja ohjelmistojen vikaantuminen. /6/

3.1.1 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito on suunnittelematonta kunnossapitoa, joka vaatii toimenpiteeksi vian välitöntä korjaamista. Tällaisen vian ilmetessä, kunnossapitohenkilön tulee arvioida tilanne ja palauttaa kone tuotantoon mahdollisimman nopeasti tuotantoa häiritsemättä. Syitä, jotka voivat häiritä koneen korjaamista, voivat olla esimerkiksi varaosien puute tai tuotannolliset paineet. Tämän kaltaisissa tilanteissa kone pyritään korjaamaan väliaikaisesti kunnes edellä mainitut tekijät poistuvat. Korjaavan kunnossapidon määrän ollessa korkea, tulee myös huolehtia varaosien hallinnasta. /6/

3.1.2 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoiva kunnossapito on ennalta suunniteltua huoltoa. Konevalmistajat ilmoittavat koneille sopivan aikavälin milloin niille tulee suorittaa huolto-ohjelma. Tavallisesti koneille suoritetaan huolto kaksi kertaa vuodessa. Tämän kaltaisia huoltoja kutsutaan vuosi- ja puolivuosi- huolloiksi. Konevalmistajat ovat voineet määrittellä kriittisten varaosien vaihtamisen tietyn käyttötuntimäärän välein, ja näiden osien vaihtaminen pyritään aina ajoittamaan ennakkohuollon yhteyteen. /6/

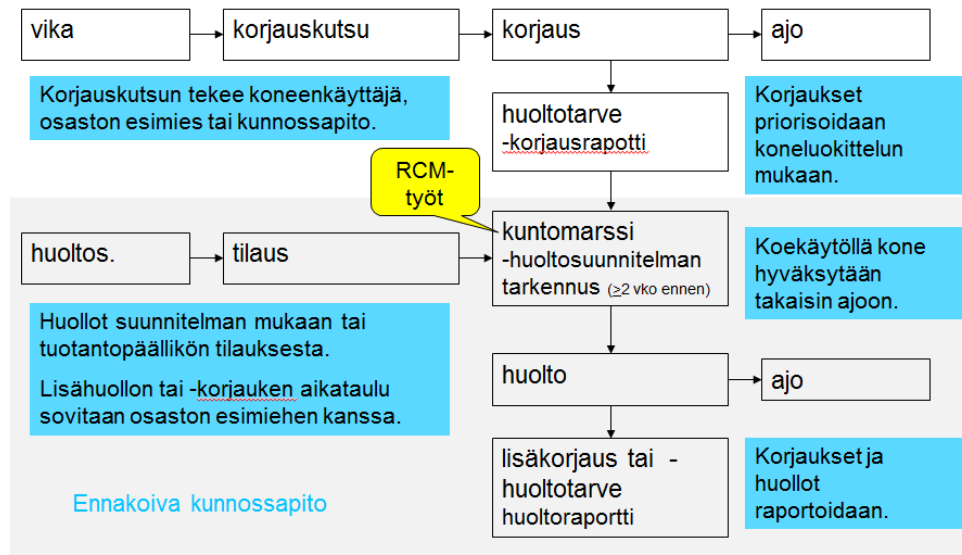
3.2 ABB Motors & Generators – kunnossapitostrategia

ABB Motors & Generators- yksikössä on tavoitteena modernisoida ja tehostaa kunnossapidon toimintaa merkittävällä tavalla vuoteen 2018 mennessä. Tämän aikaansaamiseksi pyritään laskemaan kustannuksia, nostamaan koneiden käytettävyyttä 98 %:iin, laskemalla vasteaika yhteen tuntiin vikakutsusta korjauksen aloittamiseen ja pyritään vähentämään korjaustöiden osuus alle 25 %: n. Edellä mainittujen toimenpiteiden tavoitteena on saada aikaan parempi tuottavuus.

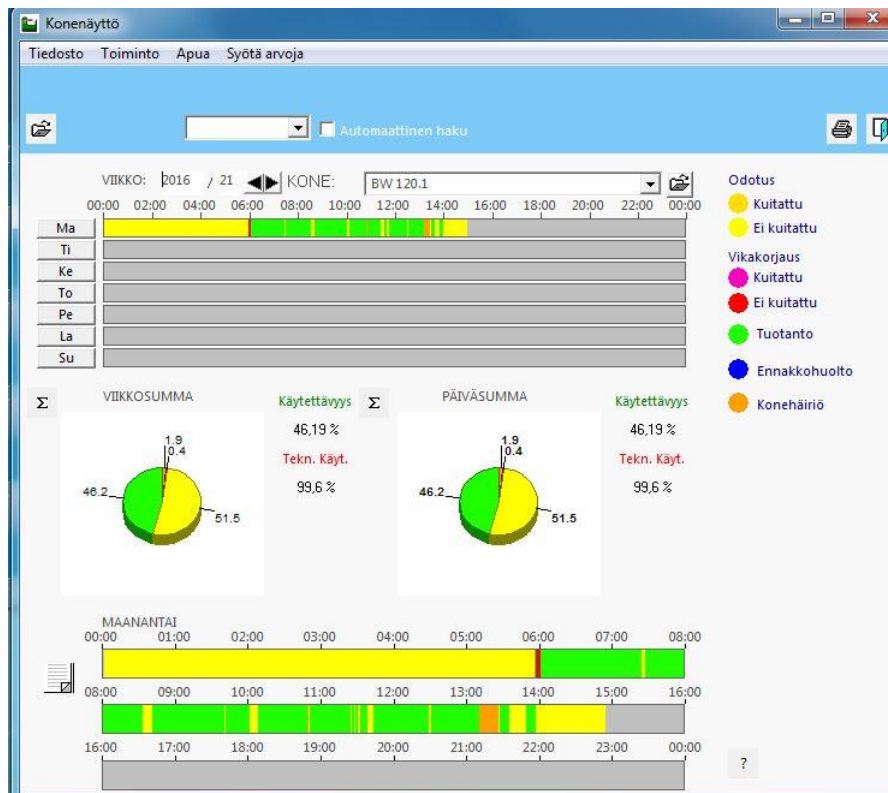
Kunnossapidon järjestäminen kuuluu tuotantopäällikön, valmistuspäällikön, kunnossapitopäällikön ja työnjohdon vastuulle. Kunnossapito-organisaatio vastaa huoltosuunnitelman ja korjauskutsujen toteutuksesta tuotantotilanteen mukaisesti. (**Kuva 1.**) Päivittäisestä käyttäjäkunnossapidosta vastaa koneenkäyttäjät yhdessä oman kunnossapitotiimin ja työnjohdon kanssa.

Huollot ja korjaukset teetetään omalla kunnossapitotiimillä, laitevalmistajilla, sekä alihankkijoilla tarpeen mukaan. Töiden ohjaus, seuranta ja raportointi tapahtuu Arrows –järjestelmällä (**Kuva 2.**). Kriittiset varaosat pidetään omassa varastossa ja muut hankitaan työkohtaisesti. /11/

Korjaukset ja Huollot



Kuva 1. Korjaukset ja huollot



Kuva 2. Arrow-järjestelmä

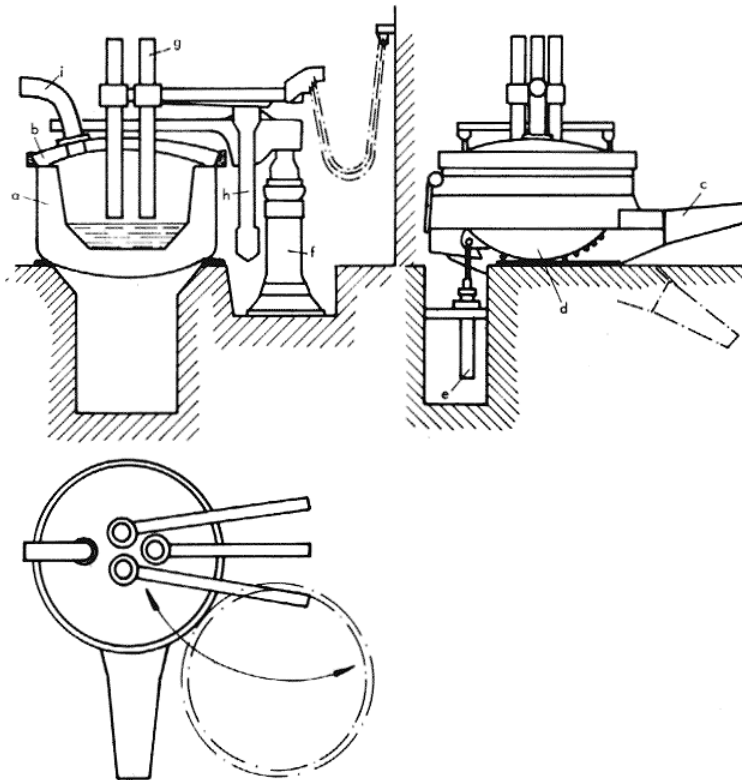
4 SULATUUUNITYYPIT

4.1 Valokaariuunit

Valokaariuuni on vanhin uunityyppi, joka käyttää sähköenergiaa metallien sulattamiseen. Tyypillisesti valokaariuuneja käytetään terästehtaissa teräksen sulatukseen. Valimokäytössä uunien koot vaihtelevat 10 tonnista 30 tonniin ja terästehtaissa 70 tonnista 100 tonniin. Alle 10 tonnin uuneja ei yleensä käytetä, koska häviöt kasvavat näin pienillä sulapanosko'oilla. /3/

4.1.1 Valokaariuunin rakenne

Valokaariuunin uunitilan rakenne koostuu hitsatuista teräslevyistä, jotka vuorataan tulenkestävillä materiaaleilla. Uunin seinien yläosa on vahvistettu vesijäähdytetyllä renkaalla, jonka päällä on uunin katto eli holvi. Teräsphanoksen sulatus tapahtuu kolmella grafiittielektrodilla, joiden kautta sähkövirta syötetään uuniin. Grafiittielektrodit kiinnittyvät elektrodipitimien avulla elektrodivarsiin (**Kuva 3.**). Uunin tehollähteenä toimii uunimuuntaja, josta lähtee kupariset vesijäähdytetyt syöttökaapelit elektrodeille. Uunin panostus tapahtuu uunin päältä holvia siirtämällä. Holvi on varustettu hydraulisylinterillä, joka mahdollistaa katon siirtämisen sivuun. Panostus tapahtuu tyypillisesti nosturilla ja magneettinostimella. Uuni on varustettu myös kallistussylintereillä, jotka mahdollistavat sulan kaatamisen valusenkkään. /3/



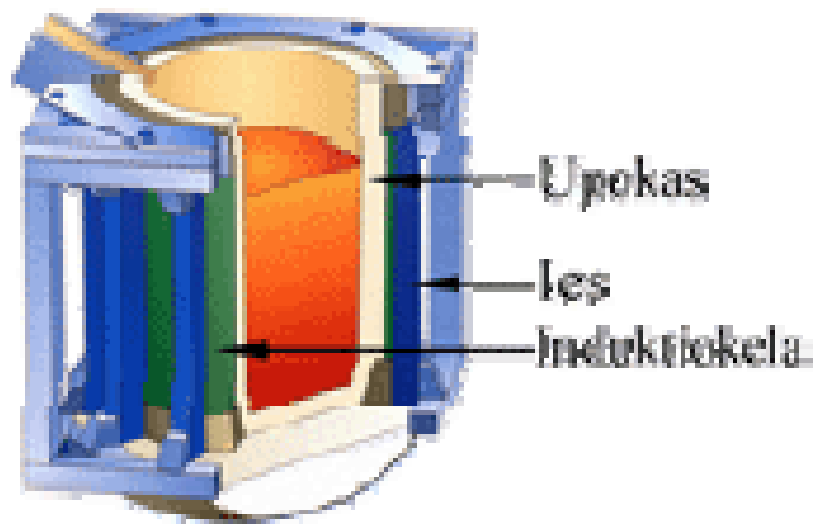
Kuva 3. Valokaariuunin rakenne

4.2 Induktiouunit

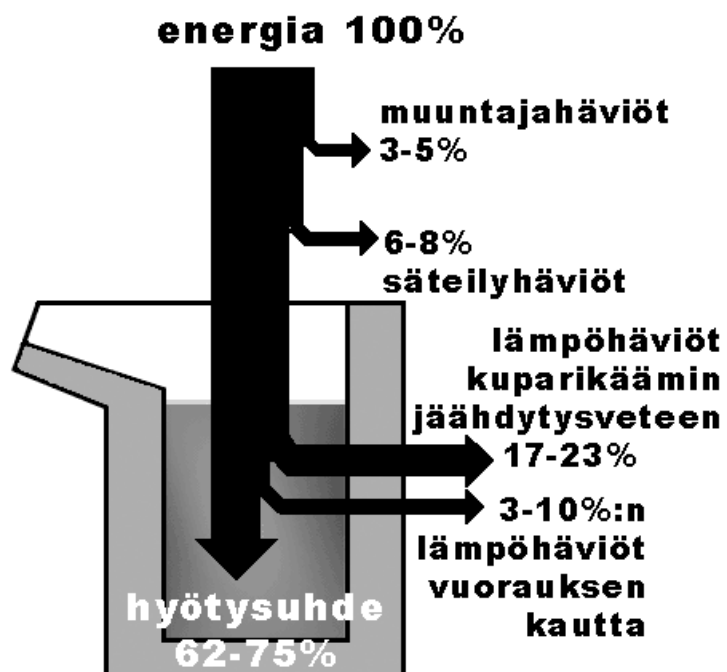
Induktiouunit ovat nykyisin yleisin uunityyppi valimoissa. Induktiouunit ovat syrjäyttäneet vähitellen kupoliuuneja valurautavalimoissa. Valurautojen laatuvaatimusten kohoaminen ja tehoelektroniikan kehitys ovat johtaneet valurautojen sulattamisen yleiseksi ja taloudellisesti kannattavaksi induktiuuneissa. Induktiouneja käytetään tavallisesti sulattamiseen ja kuumenapitoon. Induktiouneilla voidaan sulattaa kupari - ja kevytmetalleja, kuten alumiinia. Uunien koot vaihtelevat tyyppillisesti 0,5-20 tonniin. Induktiouunin toiminta perustuu pyörrevirtoihin. Pyörrevirrat kuumentavat ja sulattavat panoksen. Induktiouunit jaetaan induktioupo-kasuuneihin ja induktiokouru-uuneihin. /3/

4.2.1 Induktioupokasuuni

Induktioupokasuuneja käytetään tavallisimmin teräs- ja valurautatehtaissa. Uuni rakentuu upokkaasta, jonka ympärillä kiertää ontto kuparikela ja sen sisällä vesi jäähdytystä varten. Käämi toimii uunin kantavana osana ja se on eristetty rungosta. Uunin ympärillä ikeet eli muuntajalevyypakat suojaavat uunin teräsrunkorakenteita käämin aiheuttamilta pyörrevirroilta ja näin ollen myös uunin hyötysuhde kasvaa (**Kuva 4.**). Induktioupokasuunit jaetaan kahteen ryhmään virran taajuuden mukaan: keski- ja verkkotaajuusinduktiouuneihin. Haluttu virran taajuus uuneihin saadaan nyky menetelmin aikaiseksi tyristoriohjaimilla ja ennen pyörivillä muuttajageneraattoreilla. Unimuuntajat syöttävät tyristori- tai diodisiltaa, missä vaihtovirta tasasuunnataan, jonka jälkeen se vaihtosuunnataan uudelleen. Uunin käämin rinnalle on lisäksi kytketty kondensaattoriparistot, joilla pystytään säätämään tehokerrointa ja näin ollen kompensoimaan uunin sähköverkosta ottamaa loistehoa. Tehokerroin pyritään pitämään lähellä 1:stä. /3/



Kuva 4. Induktioupokasuunin rakenne



Kuva 5. Induktiouunin häviöt

4.2.2 Keskitaajuusinduktiouunit

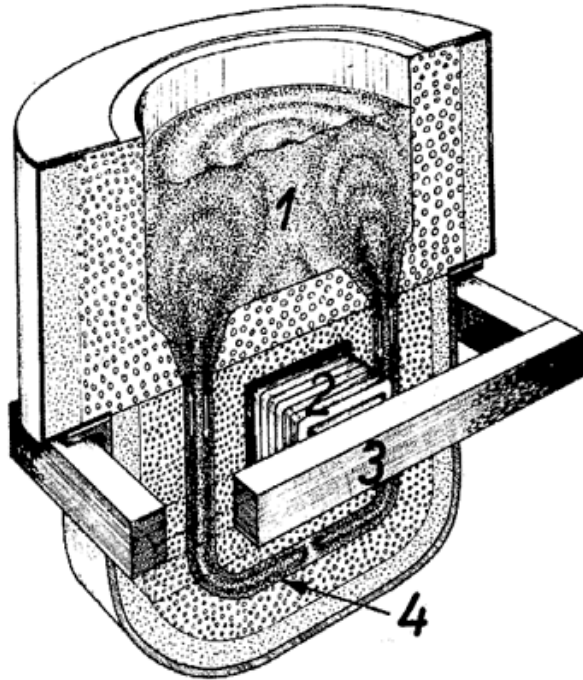
Keskitaajuusinduktioupokasuuneja käytetään nykyään paljon teräs- ja valurauta-valimoissa. Keskitaajuusuunit soveltuvat hyvin kiinteän teräksen sulattamiseen ja korkean taajuuden 500 -1000 Hz avulla voidaan sulattaa pieniäkin kappaleita. Uunin taajuus ja teho vaikuttavat sulatettavaan kappaleeseen siten, että mitä pienempi taajuus ja teho, sitä huonommin sillä voidaan sulattaa pieniä kappaleita. Toisaalta matala taajuus lisää uunin sulan virtausta ja tällöin myös sekoittumista. Keskitaajuusuuneilla sulatus voidaan aloittaa ilman alkusulaa. /3/

4.2.3 Verkkotaajuusinduktiouunit

Verkkotaajuusuunit ovat rakenteeltaan yksinkertaisempia ja halvempia kuin keskitaajuusuunit, koska niissä ei tarvita taajuusmuuttajia. Verkkotaajuusuunissa sulatuksen voi aloittaa vain suurikokoisella romulla tai alkusulapanoksella. Verkkotaajuusuunit eivät sovellu yhtä hyvin metallien ja teräksien sulattamiseen kuin keskitaajuusinduktiouunit, koska ne liuottavat ilmasta haitallisia kaasuja. Verkkotaajuusuuneja käytetään valurautojen sulatukseen ja lämpimänäpitoon. /3/

4.2.4 Induktiokouru-uuni

Induktiokouru-uunit toimivat 50 Hz taajuudella. Induktiokouru-uuneja käytetään tavallisesti kevytmetallien sulatukseen, valuraudan kuumanaapitoon ja duplex-käsittelyyn. Kouru-uuneissa sulatus tapahtuu uunin pohjassa olevassa kourussa. Sulapanoksen ympärillä on induktori eli muuntaja, jonka kuparikäämeihin johdetaan sähkövirtaa, mikä taas aiheuttaa magneettivuon rautasydämeen. Sulapanos toimii muuntajan toisena, jolloin rautasydäimestä indusoituu pyörrevirtoja sulaan (Kuva 6.). Kylmän kouru-uunin käynnistys vaatii aina alkusulapanoksen jostain toisesta uunista. Sulan metallin ei saa antaa jähmettyä kouruun, koska se voi pahimmassa tapauksessa rikkoa kourun. Uunin induktorin vuorausta jäähdytetään yleensä vedellä ja käämejä vedellä tai ilmapuhalluksella. Induktiokouru-uunien induktorin vuoraus kestää tavallisesti noin 2 vuotta ja tämän johdosta induktori ja uunipesä on rakennettu erillisiksi niin, että ne voidaan huoltaa. /3/



Kuva 6. Induktiokouru-uunin rakenne 1) uunipesä, 2) primäärikäämi, 3) rautasydän 4) toision muodostava sulametallikouru

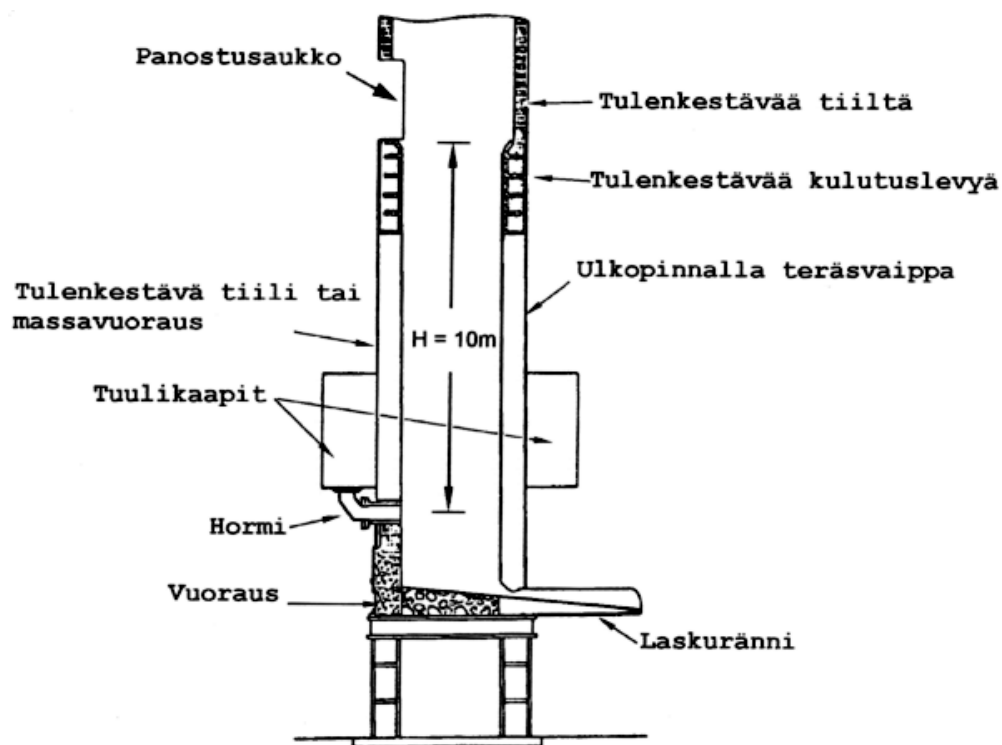
4.3 Kupoliuunit

Kupoliuuni on vanhin valuraudan sulatusuuni. Maailman valurautatuotannosta noin 60 % valmistetaan kupoliuuneilla, johtuen edullisista perustamiskustannuksista, toimintavarmuudesta ja yksinkertaisesta toimintaperiaatteesta. Suomessa kupoliuunit ovat harvinaisia, johtuen uunin kovista päästöistä ja koksen kalliista hinnasta. Tästä johtuen Suomessa on siirrytty käyttämään induktiuuneja, jolloin ei tarvita kalliita suodatinlaitteistoja saavuttaaksemme Suomen ympäristövaatimukset.

Kupoliuunien toiminta perustuu koksen polttoon. Koksi ja rautamalmi lasketaan kerroksittain uuniin, johon puhalletaan ilmaa, jonka kuumuus sytyttää koksen. Rautaoksidit pelkistyvät metalliseksi raudaksi hiilen ja hiilimonoksidin avulla. Kupoliuunit voidaan jakaa kahteen pääryhmään: kylmäilma- ja kuumailmakupoliuuneihin. /3/

4.3.1 Kylmäilmakupoliuunit

Kylmäilmakupoliuuni on vanhin kupoliuunityyppi. Se saa nimensä puhallettavasti ilmasta, joka ei ole esilämmitettyä. Uuni muodostuu teräslieriöstä, joka on rakennettu teräspilareiden päälle. Lieriö on vuorattu sisältä tulenkestävillä tiilillä tai massalla. Ilma johdetaan uuniin hormien kautta, jotka sijaitsevat 1-1,5 metrin korkeudella pohjasta. Tuleva ilma jaetaan hormoneihin puhallusrenkaan eli tuulikaapin kautta (**Kuva 7.**). /3/



Kuva 7. Kylmäilmakupoliuuni

4.3.2 Kuumailmakupoliuunit

Kylmäilmakupoliuuneilla on huono hyötysuhde. Vain 30 % koksen palamisesta syntyneestä lämmöstä saadaan hyödynnettyä ja loput 70 % menee hukkaan palokaasujen mukana. Kuumailmakupoliuuneissa hukkaan menevällä palokaasujen lämpötilalla saadaan lämmitettyä uuniin tuleva puhallusilma. Näin saadaan nostettua uunin hyötysuhde yli 40 %:iin ja näin ollen nousu näkyy parhaiten koksen kulutuksessa. Kuumailmakupoliuunien huonoja puolia ovat vuorauksen nopeampi kuluminen verrattuna kylmäilmakupoliuuneihin ja lämmönvaihtimen korkeat hankinta- ja huoltokustannukset. /3/

5 UUNIT TEHTAASSA

ABB Motors & Generators Vaasan yksikössä on käytössä vain induktiokouru-uuneja. Vuonna 1971 käyttöönotettuja englantilaisvalmisteisia Birlec-uuneja, joiden teho on 100 kW ja vetoisuus 1000 kg ja vuonna 2011 käyttöönotettuja saksalaisvalmisteisia Marx-uuneja, joiden teho on 200 kW ja vetoisuus 2000 kg.

Työssä tullaan keskittymään Marx-uunien induktoriin. Sulatusuunit toimivat tuotantoketjussa roottorin valmistuksessa. Induktiokouru-uuneissa sulatettu alumiini kaadetaan Westofen-annostelu-uuniin, josta annostellaan roottorikoosta riippuen haluttu määrä sulaa korkeapainevalukoneen männälle. Korkeapainevalukone puristaa dynamolevyistä valmistettuja roottoripaketteja lujasti muotissa ja valukoneen mäntä ruiskuttaa paineella alumiinisulan roottoripaketin läpi. Muotin lukitukset pysyvät päällä muutamia minuutteja, että sula ehtii jähmettyä. Näin muodostuu roottorin häkkikäämitys ja oikosulkurenkaat. Tämän jälkeen roottoripaketti akseloidaan akselipuristimessa, jonka jälkeen akseli oikaistaan ja roottori sorvataan mittaan. Lopuksi roottori tasapainotetaan tasapainotuskoneessa. Tasapainotuksessa tulee ilmi jos valun aikana on muodostunut valuvirheitä, kuten esimerkiksi häkkikäämityksen valu on jäänyt vajaaksi.

Induktiouunit ovat melko herkkiä sähkökatkoksille ja vioille. Uunin induktorin kouru ei kestä sulan alumiinin jähmettymistä ja voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa halkeamia kouruun. Uunien vikaantuessa täytyy noin tunnin kuluessa tehdä päätös hätäkaadetaanko uuni, jos vikaa ei saada korjattua ajoissa. Tehtaassa on vuonna 1999 hankittu 50 kVA generaattori, jolla voidaan syöttää uunien apulaitteita, kuten hydraulikkaa. Tämä mahdollistaa uunien hätäkaadon. Vuonna 2011 ABB:lle hankittiin 2 kpl 500 kVA generaattoreita, jotka mahdollistavat uunien sähkönsyötön jos valtakunnan verkon syöttö katkeaa.

5.1 MARX- induktiokouru-uunien rakenne ja toiminta

5.1.1 Sähköinen ja mekaaninen rakenne

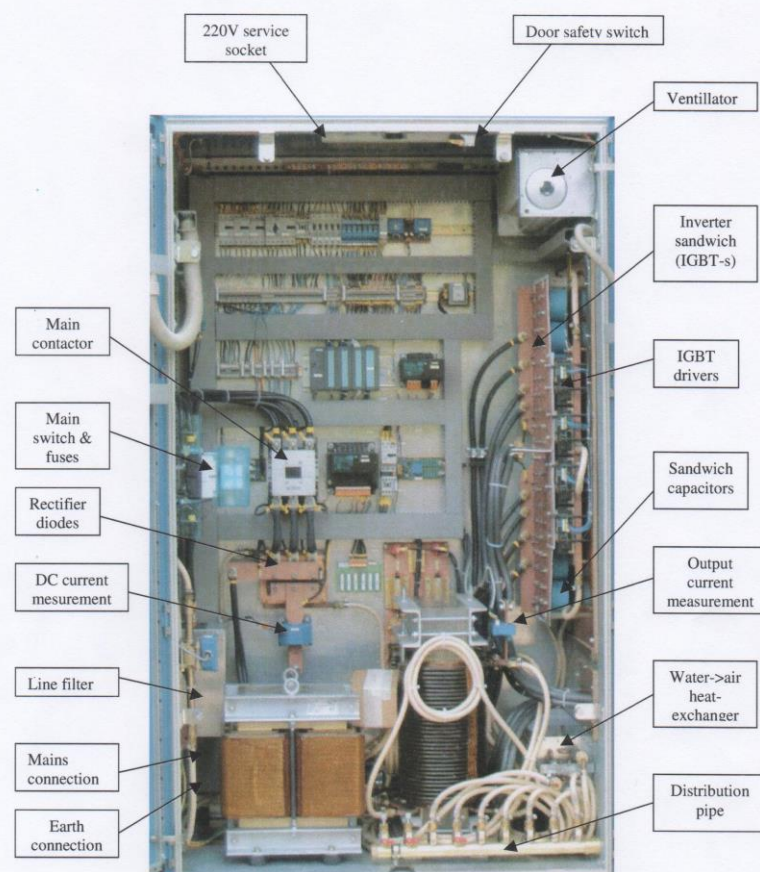
Marx-uunit ovat saksalaisvalmisteisia ja rakenteeltaan induktiokouru-uuneja. Uunien nimellinen teho on 200 kW ja taajuus 50 Hz. Uunien toiminta perustuu käytännössä taajuusmuuttajan toimintaan. Vaihtojännite tasasuunnataan ensin kolmivaiheisella 6-pulssitasasuuntaajalla yksivaiheiseksi tasajännitteeksi, jonka jälkeen tasajännite vaihtosuunnataan käyttäen IGBT –transistoreita (**Kuva 8.**). DC -välipiirissä käytetään tulokuristinta, jonka tarkoituksena on tasoittaa verkkovirran aaltomuotoa, kokonaissäröä ja suojata verkkojännitte häiriöiltä. Induktorin lähtöpiirissä käytetään lähtökuristinta, jonka tarkoituksena on suodattaa jännitepiikkien aiheuttamat virtapiikit (**Kuva 9.**).

Uunin lähtökuristin, suuntaajat ja induktorin kela tarvitsevat vesijäähdytyksen. Jäähdytys on toteutettu kahdella suljettupiirisellä lämmönvaihtimella. Vesi on vesijohtovettä, joka ionipuhdistetaan ionisaattorilla, jolloin vesi ei johda sähköä. Ionipuhdistettu vesi johdetaan sähkökaappiin missä se kiertää suuntaajien ja lähtökuristimen kautta. Induktori saa jäähdytysveden tehonsyöttökaapeleita pitkin. Kaapelit rakentuvat suojavaipasta ja kuparisydäimestä. Vesi kulkee suojavaipan sisällä kuparisydämen kanssa kosketuksessa. Uunit ovat lisäksi varustettu hydraulikkayksiköllä ja kallistussylintereillä, mikä mahdollistaa uunin kallistuksen kun Westofen -annosteluunia täytetään tai vikatilanteessa voidaan hydrauliiikan avulla suorittaa hätäkaato.



User guide - Channel furnace with frequency converter

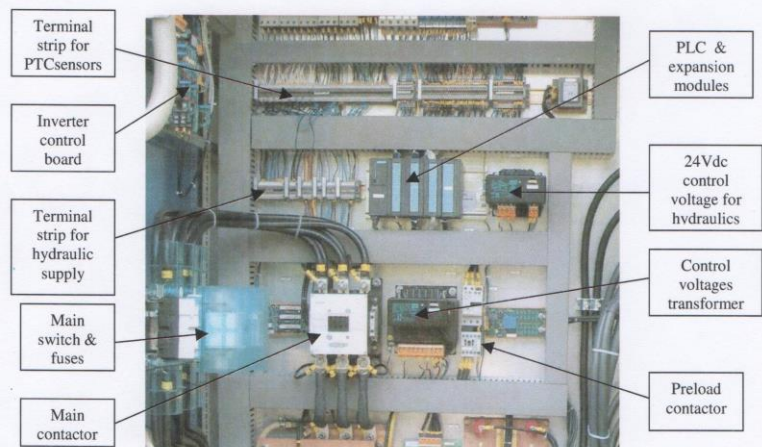
1.3 Main components of the converter



Kuva 8. Sähkökeskuksen pääkomponentit



User guide - Channel furnace with frequency converter

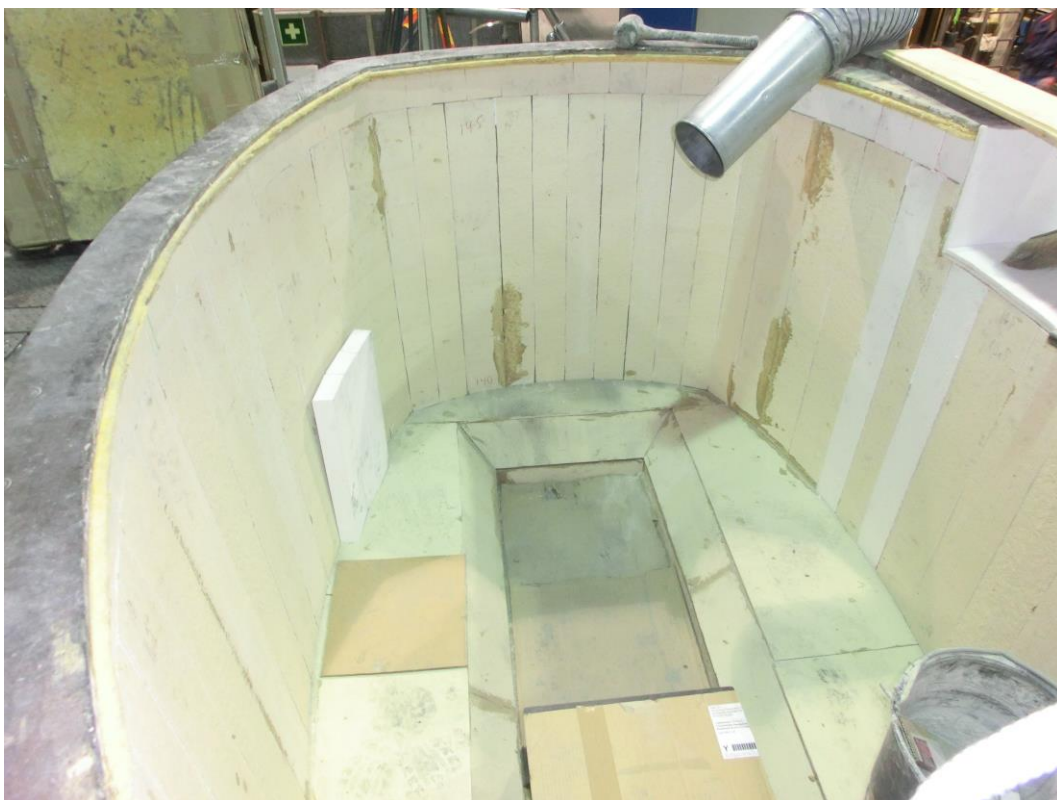


Kuva 9. Tulo- ja lähtökuristin

5.2 Uunin pataosan vuoraus

Uunien induktorit vuorataan noin 1-2 vuoden välein ja uunipesä 2-3 vuoden välein. Tehtaan oma kunnossapito huoltaa ja tekee induktorien muuraukset, mutta uunipesän vuorauksen suorittaa ulkopuolinen yritys.

Uunipesän vuoraus aloitetaan laminoimalla uunin sisäpinnalle tulenkestäviä levyjä (**Kuva 10.**), levyt toimivat eristeenä uunin teräsrungon ja sulan välillä. Tämän jälkeen tulenkestävien levyjen päälle muurataan tulenkestävistä tiilistä eristävä seinämä (**Kuva 11.**). Lopuksi uuniin lasketaan teräslevyistä hitsattu muotti ja märkämässä kaadetaan uuniin, mikä muodostaa lopullisen vuorauksen (**Kuva 12.**) ja (**Kuva 13.**).



Kuva 10. Uunipesän vuoraus tulenkestävillä levyillä



Kuva 11. Uunipesän vuoraus tulenkestävillä tiilillä



Kuva 12. Märkämassan kaato uunipesän muotin ympärille

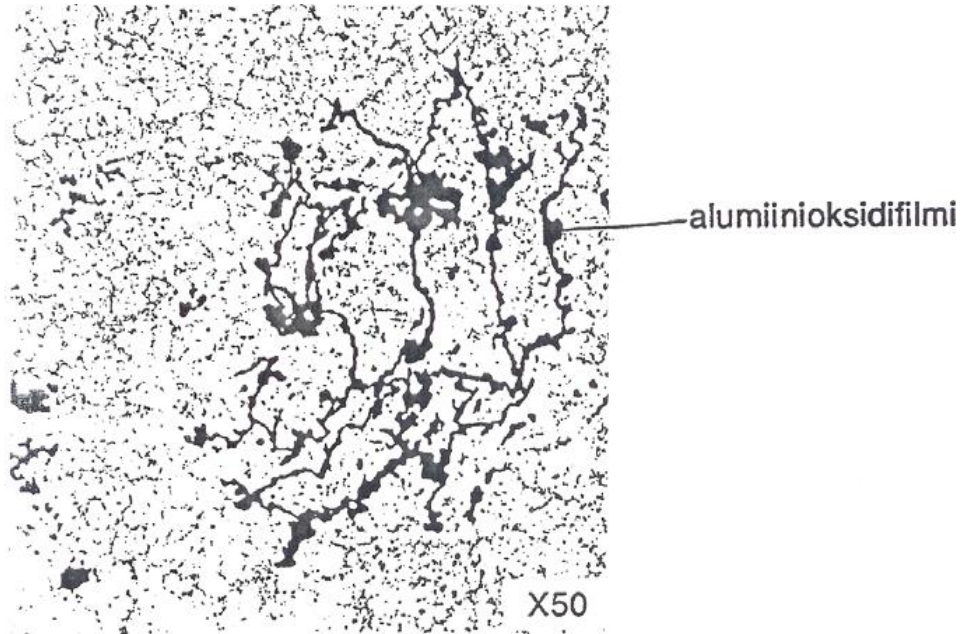


Kuva 13. Valmis uunipesä

5.3 Alumiinin ominaisuuksia

Alumiinisula liuottaa itseensä voimakkaasti vetyä, mikä näkyy kuplina jähmettyneessä sulassa. Pääasiassa vetyä kertyy ilman ja palokaasujen vesihöyrystä. Vedyn liukenemista voidaan rajoittaa käyttämällä alumiinisulan pintaan laitettavaa suojasuolaa, joka estää ilman ja palokaasujen kosketuksen. Vedyn ja muiden kaasujen poistamiseksi sulasta käytetään yleensä kaasupoisto- tai tyhjöhuuhtelua. /5/

Alumiinisula hapettuu todella helposti, mikä saattaa aiheuttaa valuvikoja jos alumiinioksidin palasia pääsee valettavaan kappaleeseen. Tämän johdosta Westofen-annostelu -uunia täytettäessä tulisi oksidoitunut alumiini ja kuona poistaa huolellisesti sulan seasta ja pinnasta ennen kaatoa. Alumiinivalun yleisimpiä ongelmia ovat alumiinioksidit ja oksidifilmit (**Kuva 14.**).



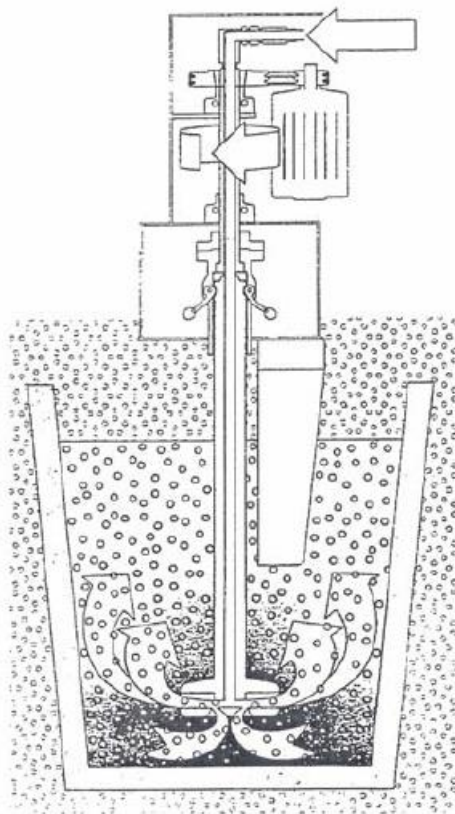
Kuva 14. Alumiinioksidifilmi

Alumiinioksidien ja filmien esiintymistä aiheuttavat

- sekundääristen materiaalien valmistukseen käytetyt raaka-aineet ja prosessit
- sulan lämpöhistoria, niin harkon kuin valimonkin sulatuksessa
- sulatusraaka-aineiden ja atmosfäärin kosteus
- sulan liikkeet
- sulakäsittelyt
- valutapahtuma, kaadot, valunopeus

Alumiinioksidin syntymisen estämiseksi sulalle suoritetaan kuonaus eli puhdistuskäsittely, jossa sulan pinnalle laitetaan peiteaine, joka suojaa sulaa oksidoitumiselta. Kaasujen poistamiseksi suoritetaan yleensä kaasuhuuhtelu, jossa putki eli lanssi johdetaan sulaan ja suuttimesta johdetaan haluttua kaasua, kuten alumiinin

tapauksessa kloorikaasua, johon on lisätty typpeä myrkyllisyyden vähentämiseksi
(**Kuva 15.**). /5/



Kuva 15. Kaasuhuuhdelusekoitin

Kiertävän sulan alumiinin aiheuttama eroosio kanavissa kuluttaa aikaa myöden induktori-osan kourua. Näin ollen kanavista muodostuu epätasaisia ja alumiinioksidit tarttuvat herkemmin kanaviin ja tukkeutuvat ajan myötä. ABB:n Vaasan tehtaalla on kehitetty poralaite, jolla voidaan pidentää induktorin kanavien ikää. Uunin kannessa on kolme reikää jokaista kanavaa varten mistä voidaan pora laskea ja suorittaa avausporaus. Tämäkään ei kuitenkaan poista kanavien tukkeutumista täysin, mutta sillä voidaan pidentää induktorin käyttöikää merkittävästi.

6 INDUKTORIN VUORAUKSEN VALMISTUS ENNEN JA NYKYÄÄN

Tässä luvussa keskitytään opinnäytetyön aiheeseen, jonka tarkoituksena on kehittää induktorin vuorauksen valmistusta.

Induktorin vuoraus uusitaan noin 1-2 vuoden välein, riippuen kuinka hyvin sen valmistus on onnistunut ja kuinka nopeasti kanavat tukkeutuvat. Vuoraus aloitetaan asentamalla tulenkestävät eristelevyt induktorin teräsrungon sisäreunoille, jonka jälkeen asennetaan muotti induktorin sisälle (**Kuva 16.**). Muotin asentamisen jälkeen rautasydän ja kela asennetaan induktorin runkoon. Kelan ja rautasydämen asentamisen jälkeen muotin ympärille kaadetaan säikeistä kuivamassaa, joka tampataan sähkötoimisella täryttimellä tiiviiksi. Käytössä oleva kuivamassa on Allied Mineralin Dri-Vibe 558A-FR, joka sisältää alumiinioksidia Al_2O_3 90,7 % piioksidia SiO_2 4,5 % ja titaanioksidia TiO_2 2,1 %. Kuivamassassa on lisäksi ruostumattomasta teräksestä valmistettuja säikeitä, jotka vahvistavat rakennetta ja estävät sen halkeamista. Kuivamassan asennuksen jälkeen se tulee sintrata lämmöllä kovaksi.

Marxi-uunien tullessa tehtaalle, valmistajan ratkaisu oli käyttää teräksestä valmistettua muottia, jota lämmitettiin kaasupolttimilla. Muotti rakentui monesta osasta, jotka kasattiin pulttiliitoksin yhteen (**Kuva 17.**). Ongelmaksi muodostui ajan kuluessa kaasupolttimien lämpövaikutuksen aiheuttamat rakennemuutokset. Kaasupolttimien muodostamat korkeat pistelämpötilat väänsivät muotin rakennetta niin, että sen purkaminen muodostui erittäin hankalaksi sintraantuneen kuivamassan jälkeen. Kaasupolttimien korkea lämpötila, noin 1500 °C, on myös haitaksi kuivamassalle, jonka maksimikäyttölämpötila on 1095 °C ja minimikäyttölämpötila 425 °C.



Kuva 16. Induktorin vuorausta tulenkestävillä levyillä



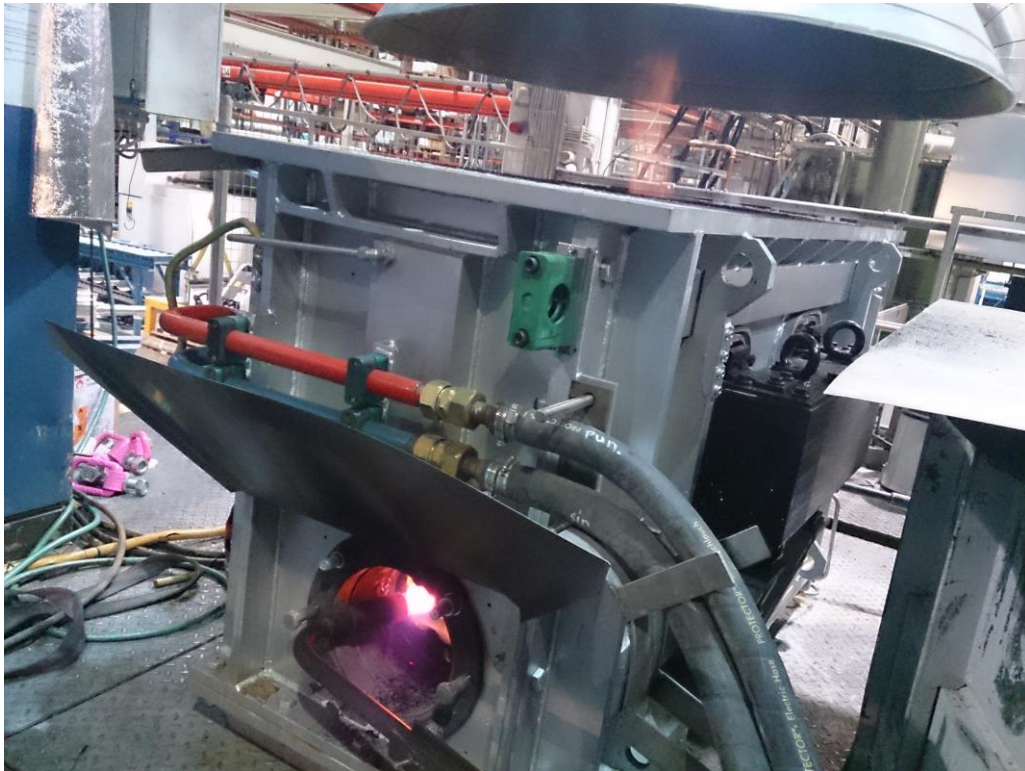
Kuva 17. Marx-teräsmuotti

ABB Motors & Generators Vaasan-yksikössä kehitettiin muotin korvaajaksi puusta valmistettu muotti (**Kuva 18.**). Puusta valmistettua muottia lämmitetään samalla tavoin kuin teräsmuottia, mutta se poltetaan hitaasti pois. Puusta valmistettu muotti poisti teräksestä valmistetun muotin ongelmat, mutta puumuotti aiheutti uusia ongelmia. Ongelmaksi muodostuu puun palamisen aiheuttama käry, joka täytyy ottaa huomioon polttopaikan valinnassa (**Kuva 19.**). Lisäksi puun palaminen pitäisi tapahtua hitaasti kytämällä, jotta kuivamassa ehtisi sintraantua riittävästi. Liian nopea palaminen on aiheuttanut pienimuotoisia sortumia ja epätasaisuuksia kuivamassaan. Epätasaisuudet ovat otollisia paikkoja oksidoituneelle alumiinille ja näin ollen induktorin vuorauksen käyttöikä lyhenee merkittävästi. Kuvissa 20 ja 21 esitetään kanavien muoto polttotapahtuman jälkeen.

Kaasupolttimien käyttö on myös aina turvallisuusriski. Sintraustapahtuma kestää noin 48 tuntia ja vaatii tulityöluvan ja jatkuvan valvonnan. Aina ennen työn aloitusta tulee tarkastaa polttimien letkut ja liitokset, että vältetään kaasuvuodoilta ja näin onnettomuuksilta. Muotti on tänä päivänäkin käytössä, koska muita ratkaisuja ei ole löytynyt tai ei ole tutkittu.



Kuva 18. Puumuotti



Kuva 19. Puumuotin poltto ja kuivamassan sintraus



Kuva 20. Induktorin alakanava polton jälkeen



Kuva 21. Induktorin keskikanava polton jälkeen

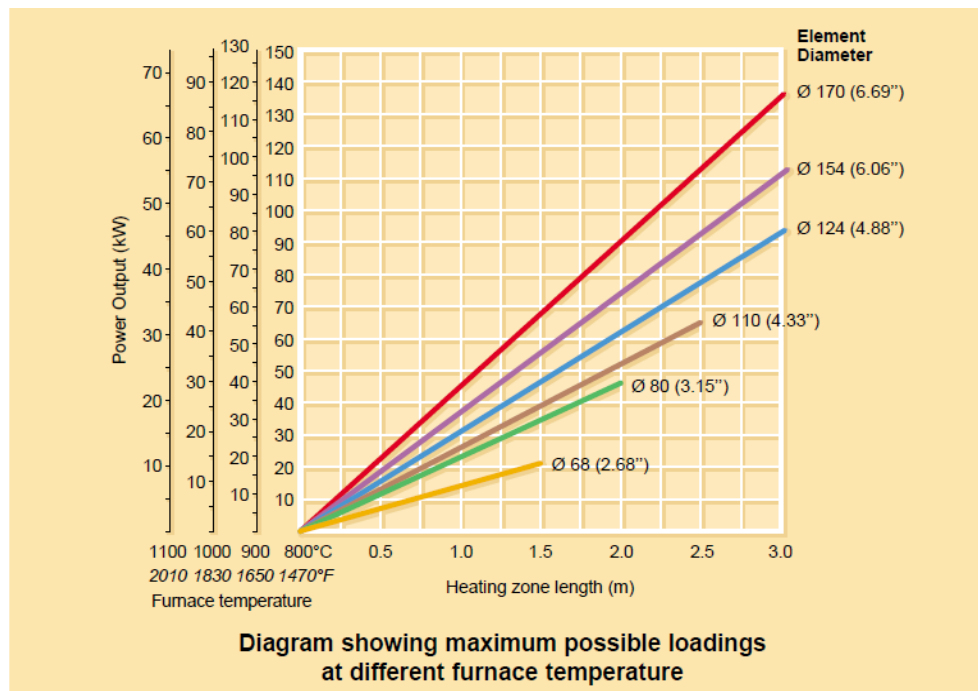
6.1 Vuorauksen valmistus muotilla ja sähkövastuksilla

ABB Motors & Generators –yksikössä on tehty joskus aloite teräsmuotin ja sähkövastuksien käytöstä. Tarkoituksena on valmistaa teräsmuotti, jonka sisälle voitaisiin sijoittaa sähkövastukset. Ajatuksena olisi käyttää vanhaa teräsmuottia, josta pystykanavien yläpäiden laipat sorvattaisiin auki (**Kuva 17.**). Tällöin jokaiseen pystykanavaan voitaisiin sijoittaa vastukset. Sijoittamalla vastukset kanaviin ongelmaksi muodostuu muotin rakenne. Jokaisessa kanavassa on alun perin ollut kaksi M10 kierrettä, jonka tarkoituksena on ollut kiinnittää ylä- ja alakanavat kiinni toisiinsa kierretankojen avulla. Sorvaamalla pystykanavien ylälaipat auki, menetetään tämä kiinnitysmahdollisuus, jolloin täytyy etsiä muita kiinnitysratkaisuja. Mahdollisuutena olisi muuttaa alakanavan ulompiin reunoihin M10 kierreet ja ulompiin pystykanaviin voitaisiin hitsata M10 kierretangot, jolloin kiinnitys tapahtuisi pyörittämällä pystykanavat kiinni alakanavaan. Yläkanavan kiinnitys pystykanaviin tapahtuisi rakentamalla kansiosa yläkanavan päälle. Kansiosasta muodostuisi kytkentäkotelon pohja vastuksille, jolloin vastuksien laipat voitaisiin kiinnittää yläkanavaan. Tällöin muodostuisi puristus yläkanavan ja pystykanavien välille. Kesikanavan kiinnitystä ei voida tehdä kiertämällä, koska kanavan muoto on ellipsimäinen, jolloin sintraantunut kuivamassa estää pyörittämisen. Mahdollisuutena olisi rakentaa alakanavaan upotus, johon keskikanava voitaisiin asettaa. Näin ollen kansiosa ja sivupystykanavat puristaisivat keskipystykanavat upotukseen ja pitäisivät sen paikallaan. Yläkanavan kiinnitettäisiin kansiosaan pulttiliitoksilla.

Pystykanavien vastuksiksi valittaisiin ruotsalaisvalmisteisia Kanthal-vastuksia. Kanthal valmistaa Tubothal mallinimellä lämmityselementtejä, jotka ovat tehokkaita ja pitkäikäisiä vastuksia (**Kuva 22.**). Elementtejä valmistetaan perusmalleina 68, 80, 110, 124, 154 ja 170 millimetriä ja pituudeltaan 6 metriin asti (**Kuva 23.**). Tubothal-elementti sopisi rakenteelta ja muodoltaan parhaiten sovitettavaksi kanaviin. Suuren tehon ansiosta myös tehon säätely ja lämmön jakautuminen olisi monipuolista.



Kuva 22. Tubothal- lämmityselementti



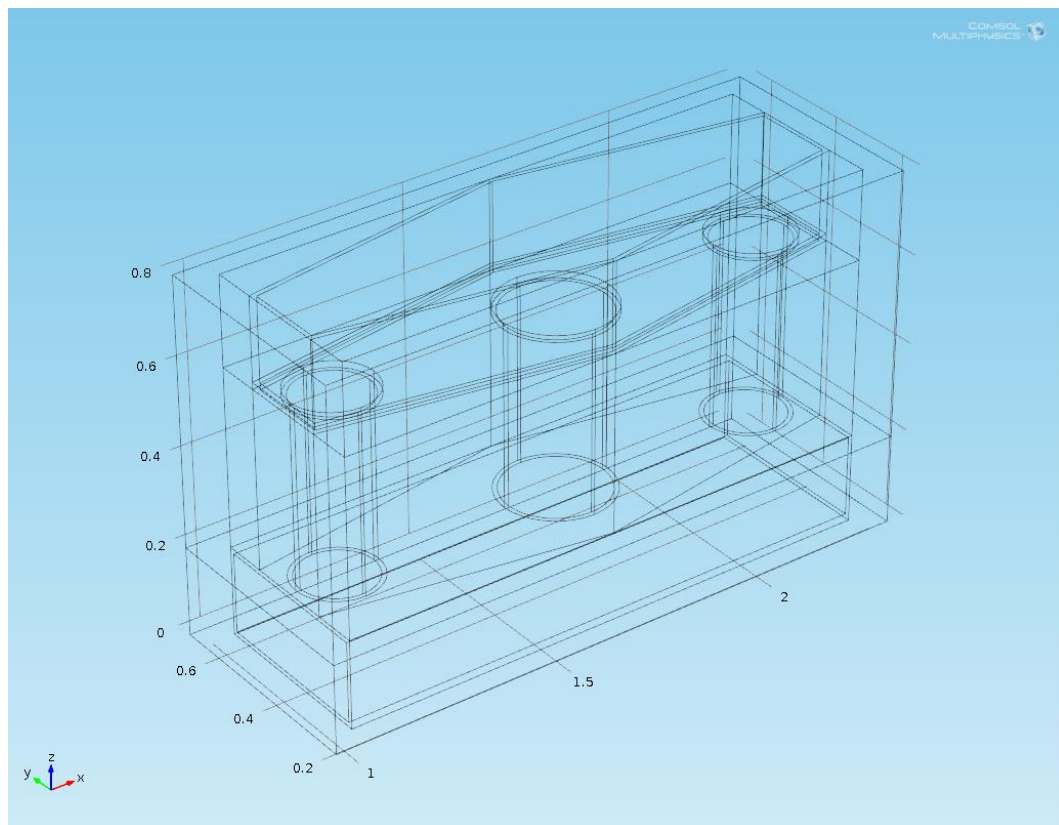
Kuva 23. Tubothal- tehokäyrä

Vastuksien lämmittämiseen voidaan käyttää jo valmiina olevaa keskusta, joka on rakennettu uunin esilämmityskantta varten. Keskukseen kannessa ovat virtamittarit jokaiselle vaiheelle ja PID-lämpötilansäädin, jolla voidaan asettaa sopiva ”rampitus” haluttuun tavoitelämpötilaan (**Kuva 24.**).



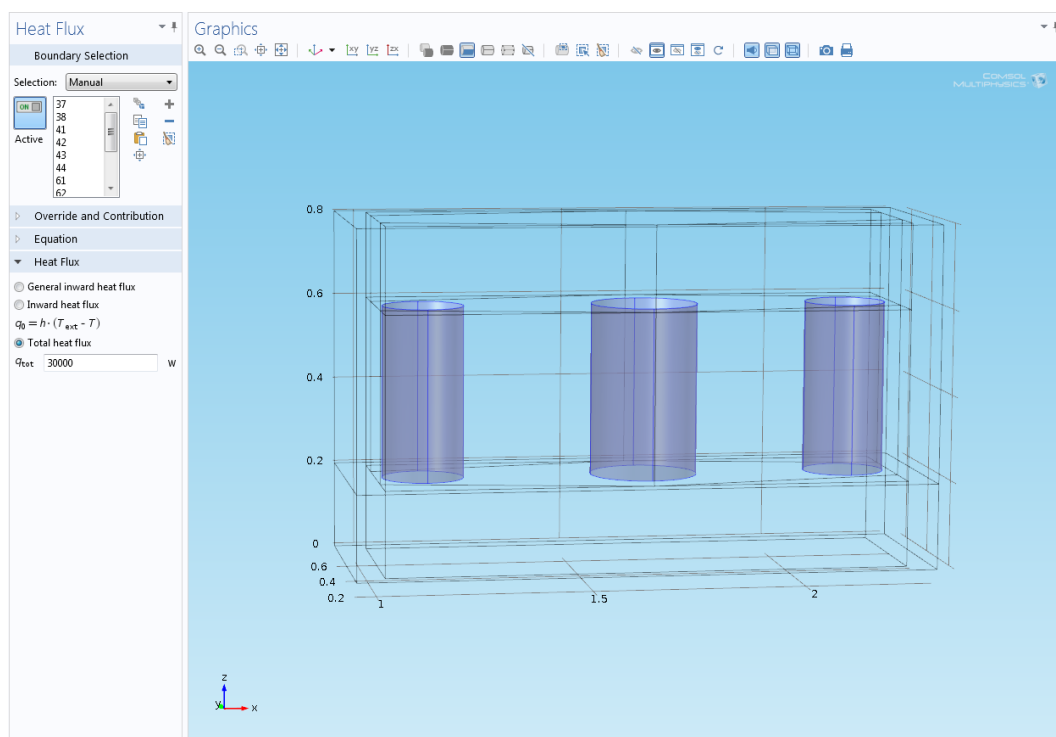
Kuva 24. Uunin esilämmityskeskus

Vastuksien käytössä ongelmana on lämmönjakautuminen. Kuivamassa tarvitsee vähintään 425°C astetta, että se alkaa sintraantua ja 1095°C astetta on maksimikäyttölämpötila. Lämmönjakautumisesta teräsmuotissa suoritettiin FEM-laskentaa käyttäen mallinnus, josta nähtiin riittääkö lämpötila ja jakautuuko se riittävän laajalle alueelle (**Kuva 25.**). Mallinnuksessa sijoitettiin jokaiseen kanavaan noin 10 kW:n vastus, joka vastaa kuvasta 23 katsoen 68mm:n halkaisijaltaan olevaa vastuskokoja. Mallinnuksessa käytettiin Comsol Multiphysicsiä



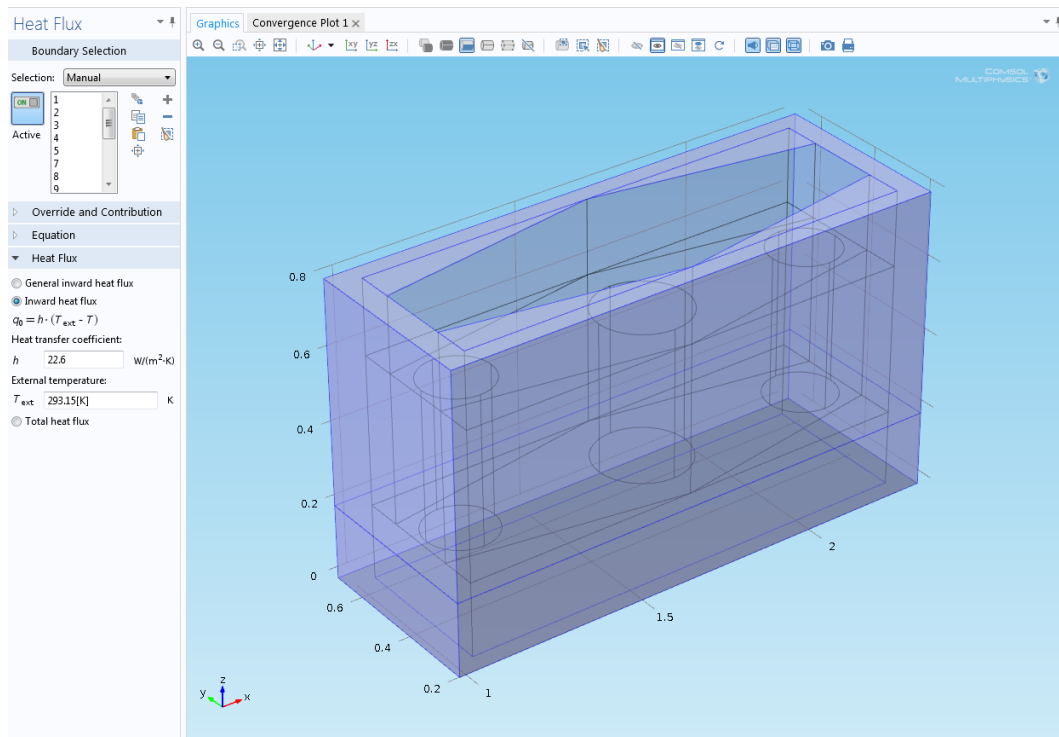
Kuva 25. Induktorin mallinnus

Ohjelmassa tuli määrittää materiaalit jokaiselle piirretylle osalle. Muotin materiaaliksi valittiin teräs, muotin sisäpuoliselle ontolle tilalle ilma ja kuivamassan materiaaliksi valittiin alumiinioksidi. Lämpövuon lähteeksi valittiin teräsmuotin pystykanavat ja kokonaislämpövuon tehoksi määriteltiin 30 kW:a (**Kuva 26.**).



Kuva 26. Muotin lämpövuon lähde

Tämän jälkeen määritettiin toinen lämpövuon lähde, joka oli käytännössä muottia ympäröivä alumiinioksidi/kuivamassa johon lämpövuoto siirtyy (**Kuva 27.**). Lämpönsiirtymiskerroin tuli syöttää ohjelmaan ja se voitiin ratkaista seuraavalla sivulla olevalla kaavalla.



Kuva 27. Kuivamassan lämpövuon määrittely

Alumiinioksidin lämmönjohtavuus $\lambda = 18 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$

Pystykanavan säde $r = 0,05 \text{ m}$

Pystykanavan korkeus $h = 0,4 \text{ m}$

Pystykanavien vaippojen pinta-ala $= 3 * (2\pi r * h) = 0,377 \text{ m}^2$

Fourierin laki, jolla voitiin ratkaista aineen lämmönjohtavuus

$T_1 = 800 \text{ }^\circ\text{C} = 1073,15 \text{ K}$

$T_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$

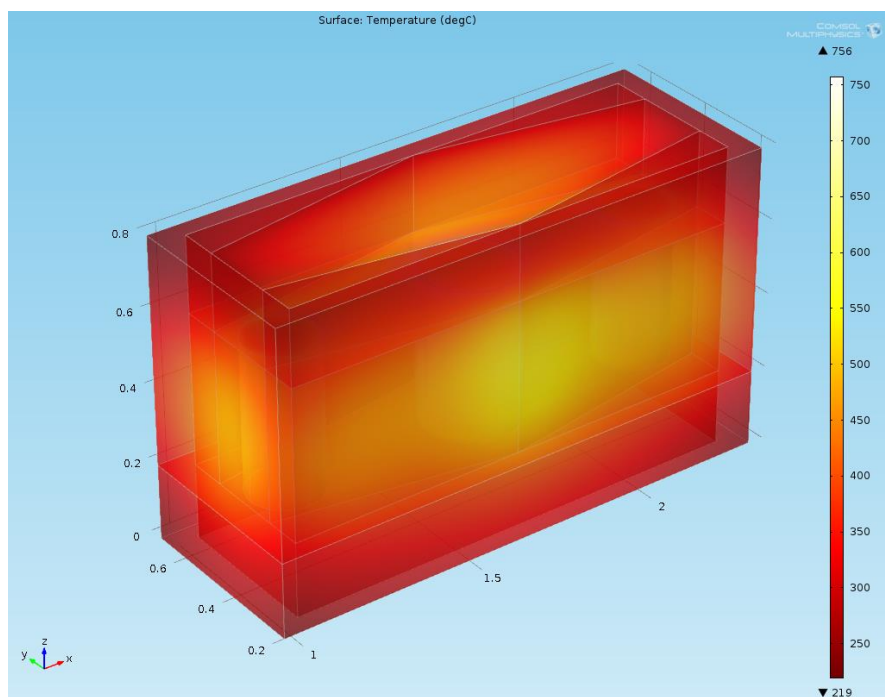
Ainekerroksen paksuus $d = 0,3 \text{ m}$

$$\phi = -\lambda * A * \frac{\Delta T}{d} = -1,764 * 10^4 \text{ W/m} * K \quad (1)$$

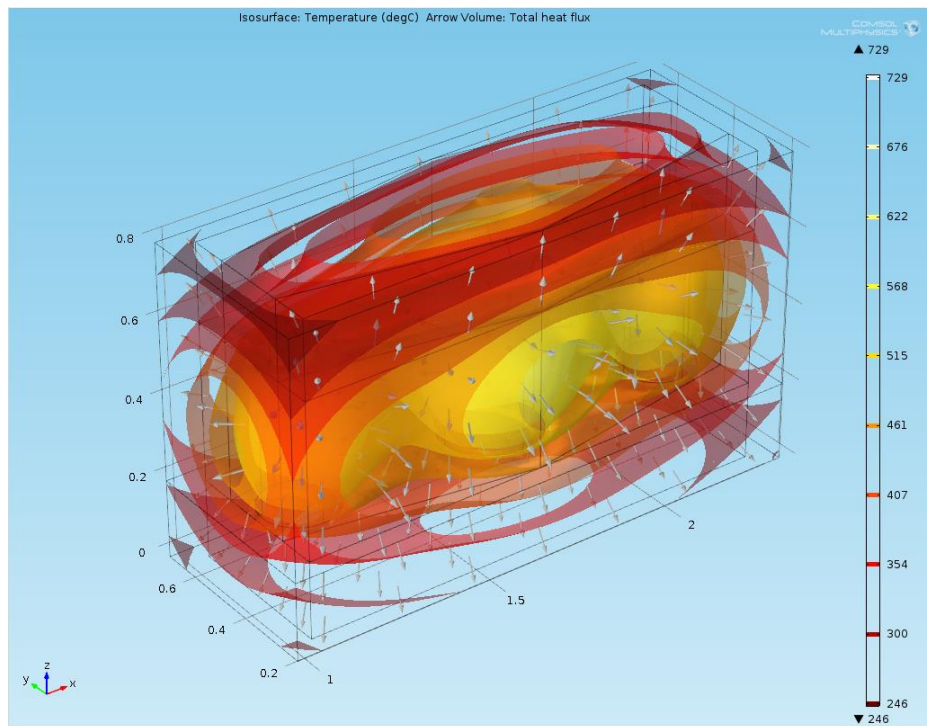
Lämmönsiirtymiskerroin:

$$h = \frac{\phi}{T_2 - T_1} 22,6 \text{ W/(m}^2 * K) \quad (2)$$

Mallinnuksen ja parametrisoinnin jälkeen voitiin ajaa simulointi mallista. Tällöin tulokseksi saatiin korkeimmaksi lämpötilaksi 756 °C ja alimmaksi 219 °C (**Kuva 28.**). Kuivamassa tarvitsi siis 425 °C astetta sintraantuakseen ja tuloksista saadulla 219 °C asteella ei ole merkitystä, koska alin lämpötila sijaitsee nurkkapisteissä ja lähellä induktorin teräsrakennetta. Kuivamassan tulee sintraantua ainoastaan pinnasta noin 1-2 sentin verran, ja lopullinen sintraantuminen tapahtuu uunin käytössä. Tästä voidaan päätellä, että vastuskoko on riittävä. Kuvasta 29 nähdään lämpövuon suunta ja jakautuminen kuivamassassa.



Kuva 28. Induktorin simulointi



Kuva 29. Lämpövuon suunta ja jakaantuminen

Tuloksista huolimatta tultiin lopputulokseen, että vastuksien käyttäminen rautamuotin sisällä ei ole järkevää. Muotin hankala rakenne ja kasaaminen jokaisen sintrauksen yhteydessä on haasteellista. Myös vastusmuotin käyttö ei nopeuta prosessia verrattuna puumuottiin, jolloin rautamuotista saadut hyödyt eivät ole kustannustehokkaita. Myöhemmin esitetään parempia ratkaisuja.

6.2 Vuorauksen valmistus alumiinimuotilla

Toisena mahdollisuutena valmistaa vuoraus olisi valmistaa alumiinista joko valamalla tai koneistamalla kanavien muotoinen muotti. Vuoraus tampattaisiin samalla tavoin kuin edellä mainittiin muotin ympärille. Tamppauksen jälkeen induktori kiinnitettäisiin pataosaan, jolloin polttosintraus jäisi pois. Tarkoituksena olisi tehdä ohjelmamuutos uuniin, jolloin alumiinimuottia voitaisiin lämmittää induktion avulla. Ongelmana on, että kouru-uunit tarvitsevat aina alkusulapanoksen käyn-

nistyäkseen. Tällöin ohjelmamuutoksen lisäksi tarvittaisiin virtalähteiden muutos, että sulatusteho riittäisi muotin lämmitykseen ja lopulta sulamiseen. Asiaa ei tutkittu enempää suurien kustannuksien johdosta.

6.3 Blasch precision ceramics- keraaminen muotti

Vuonna 1979 perustettu Albanysta kotoisin oleva amerikkalainen valmistaja Blasch Precision Ceramics valmistaa monen muotoisia ja kokoisia keraamisia ja tulenkestäviä kouruja asiakkaiden vaatimusten mukaisesti. Keraamiset kourut on valmistettu keraameista, jotka ovat valmiiksi polttosintrattu muotoonsa ja ovat onttoja sisältä muodostaen kourun (**Kuva 30.**). Valmistaja lupaa keraamiselle kourulle sileää pintaa, hyvää eroosion kestävyyttä ja muotin polttosintraukset ja lämmitykset jäävät pois. Asennus tapahtuu tamppaamalla käytössä oleva kuivamassa kourun ympärille ja tämän jälkeen induktori voidaan kiinnittää suoraan paatosaan. Kiinnityksen jälkeen uunin esilämmitys voidaan aloittaa lämmityskannella, jolloin tapahtuu jo hieman kourun takana olevan kuivamassan sintraantumista. Lopullinen sintraantuminen tulee uunin käytöstä ja sulan lämmöstä.

Keraamisen muotin ominaisuudet ja hyvät puolet voittavat edellä esitettyjen muiden vaihtoehtojen puolet. Ei tarvita hankalia rakenteita ja polttosintrauksen jäädessä pois, säästetään kaksi päivää. Blasch precision ceramics:lle lähetettiin alustava kysely kourun rakennepiirustusten kanssa ja vastaukseksi saatiin, että kouru olisi mahdollista rakentaa. Kourun muotin suunnittelu ja rakennuskustannukset ovat kuitenkin melko korkeat, mutta valmiilla muotilla voidaan valmistaa sen jälkeen melko edulliseen hintaan keraamisia kouruja.



Kuva 30. Keraaminen kouru



Kuva 31. Keraamisen kourun läpileikkaus

7 ERI MENTELMIEN VERTAILU

Tässä luvussa vertaillaan eri menetelmien kuluja, säästöjä ja turvallisuutta tällä hetkellä käytössä olevaan puumuotin polttosintraukseen.

Suoritettaessa kustannuslaskentaa kuluja voitiin kohdentaa melko tarkasti, kuten eri induktorin valmistusmenetelmien komponenttien hintoja ja työtuntimääriä. Säästöjen laskemisessa taas syntyi hieman ongelmia, johtuen induktorin kestoikästä ja eri menetelmien vaikutuksesta siihen. Käytettäessä esimerkiksi keraamista kourua säästöjä jouduttiin arvioimaan, koska ei pystytty käytännössä todentamaan mikä on esimerkiksi huoltoväli ja uunin avausporauksien tarve. Keraamisen kourun rakenteesta ja pinnanlaadusta voi tulla jo todella suuria säästöjä pora- ja huoltokuluissa. Säästöjä, joita voitiin kohdentaa olivat esimerkiksi puumuotin polttosintrauksen kaasukulut, työtuntimäärien väheneminen ja sulankuljettamisen tarve toisesta sulatusuunista huollettavan uunin Westofen-annostelu-uuniin. Sulan kuljetamisesta johtuen joudutaan tekemään kompromissi, että yhdellä sulatusuunilla sulatetaan kahdelle valukoneelle sulaa, jolloin tuotantokapasiteetti putoaa hieman. Eri menetelmien välillä on myös suuria vaikutuksia työn turvallisuuteen, jota ei voida mitata rahassa. Kaksi päivää vähemmän sulan kuljetusta valusenkalla ja kaasupolttimen käytön poistuminen parantavat turvallisuutta merkittävästi.

Eri menetelmien väliltä luotiin taulukko, jossa vertailtiin menetelmien kuluja, säästöjä ja turvallisuutta pisteytysmenetelmällä (**Taulukko 1.**).

Taulukko 1. Induktorin valmistusmenetelmien vertailu

<i>Puumuotin polttosintraus</i>				
Arvostelu	Painoarvo	ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Kulut	0,75	pienet	3	2,25
Säästöt	1	kohtuulliset	2	2
Turvallisuus	1,25	huono	1	1,25
Yhteensä	3		6	5,5
Teräsmuotti ja sähkövastukset				
Arvostelu	Painoarvo	ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Kulut	0,75	kohtuulliset	2	1,5
Säästöt	1	hyvät	2,5	2,5
Turvallisuus	1,25	hyvä	2,5	3,125
Yhteensä	3		7	7,125
Alumiinimuotti				
Arvostelu	Painoarvo	ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Kulut	0,75	korkeat	0,5	0,375
Säästöt	1	hyvät	2,5	2,5
Turvallisuus	1,25	erinomainen	3,5	4,375
Yhteensä	3		6,5	7,25
Blasch precision ceramics- keraaminen kouru				
Arvostelu	Painoarvo	ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Kulut	0,75	melko korkeat	1	0,75
Säästöt	1	suuret	3,5	3,5
Turvallisuus	1,25	erinomainen	3,5	4,375
Yhteensä	3		8	8,625

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli selvittää korvaavaa vaihtoehtoa nykyisen induktorin vuorauksen valmistusmenetelmälle. Työn alkuperäinen suunnitelma oli päästä testaamaan teräsmuotti ja sähkövastusmenetelmää induktorin vuorauksessa, mutta tähän ei koskaan ollut mahdollisuutta. Jokaisen Marx-sulatusuunin induktorit olivat sen verran hyvässä kunnossa, että vuorausta ei tarvinnut suorittaa opinnäytetyön ajanjaksona. Tästä johtuen opinnäytetyön kuva muuttui hieman sitä tehdessä, jolloin aloin selvittämään muita mahdollisia vuorausmenetelmiä.

Kevään aikana ulkopuolinen yritys kävi esittelemässä alumiinisen muotin lämmitystä induktiolla. Tämä menetelmä on tänä päivänä käytössä monessa yrityksessä ulkopuolisen yrityksen mukaan. Ongelmana kuitenkin on, että tehtaassa on jo valmiit sulatusuunit ja sähkökeskukset. Tämä tarkoittaisi sitä, että jouduttaisiin vaihtamaan sulatusuunien sähkökeskukset suurempitehoisiin jolloin sulatusteho riittäisi kiinteän alumiinimuotin lämmittämiseen ja lopulta sulattamiseen. Tästä johtuen, tämän menetelmän tutkimiseen ei kulutettu juuri aikaa kalliiden investointien takia.

Lukiessa ja tutkiessa erilaisia menetelmiä löytyi amerikkalaisen Blasch Precision Ceramics- yrityksen valmistama keraaminen kouru. Luettua tästä menetelmästä vakuutuin sen ylivoimaisuudesta verrattaen muihin menetelmiin. Kävin sähköpostikeskustelua yrityksen kanssa ja kerroin heille ongelmastamme ja he tarjosivat meille ratkaisun.

Tämän projektin toteutus on vielä arvoitus. Ensin täytyy päättää jokin tutkimistani menetelmistä tai löytää muita vaihtoehtoja ja sen jälkeen täytyy saada projekti hyväksyttyä ja rahoitettua.

LÄHTEET

- /1/ ABB lyhyesti – 2016. ABB:n verkkosivut. Viitattu 15.1.2016
<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/yhtyma>
- /2/ ABB lyhyesti – Suomalais-juuret. ABB:n verkkosivut. Viitattu 15.1.2016
<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>.
- /3/ ValuAtlas – Valimotekniikan perusteet – Seija Meskanen, Pentti Toivonen. Viitattu 5.2.2016
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_sulatus_laitteet.pdf
- /4/ ValuAtlas – Valimotekniikan perusteet – Erkki Itävuori, Tuula Höök. Viitattu 11.2. 2016
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_metalliseosten_sulatus.pdf
- /5/ ValuAtlas & Tampereen ammattiopisto – Valumetallien sulatus. Viitattu 12.2.2016
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_sulatustekniikka_13.pdf
- /6/ ABB lyhyesti – Motors and Generators. 2016. Viitattu 15.1.2016
<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/motors-and-generators>
- /7/ Kunnossapito perusteet. Viitattu 20.5.2016
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet.html>
- /8/ Tubothal heating element. Viitattu 18.4.2016
<http://kanthal.com/en/products/furnace-products-and-heating-systems/electric-heating-elements/metallic-heating-elements/tubothal-heating-element/>

- /9/ Blasch Precicion Ceramics. Viitattu 12.4.2016
<http://www.blaschceramics.com/about/>
- /10/ Kunnossapito. Viitattu 20.5.2016
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Kunnossapito>
- /11/ ABB:n sisäinen kunnossapitosuunnitelma 2015. Viitattu 20.5.2016. Kunnossapito 2015.pdf

